

簡単な CPU を用いたハードウェア教育

Hardware Education using the Simple CPU

浜崎 真二† 河合一慶† 宮内 新† 荒井 秀一†
Shinji Hamasaki Kazuyoshi Kawai Arata Miyauchi Syuichi Arai

1. はじめに

武蔵工業大学電子情報工学科では、コンピュータを基礎から系統立てて学ぶことを目標に、各科目間が有機的に連続したカリキュラム(図 1)を構築している。

学部教育での第 1 の目標は、ノイマン型コンピュータの原理と、動作を確実に身に付けることである。そこで本学ではノイマン型コンピュータの例として、経済産業省が実施している情報処理技術者試験で仕様が決まっている COMET-II アーキテクチャ[1]を 1 年次から 3 年次まで一貫して取り上げている。COMET-II アーキテクチャの採用は、試験勉強になるだけでなく、多数の書籍及びシミュレータが利用でき、また COMET-II のアーキテクチャが簡潔で理解し易いからである。

2001 年度の基本情報処理技術者試験における COMET から COMET-II への仕様変更に伴い、本学では新たに COMET-II 互換プロセッサを実装した CPU 設計演習環境を構築した[2]。本稿では、その COMET-II ボードを用いて実施するハードウェア応用及び実験での演習者の理解向上を目的に、簡単な CPU による演習課題の追加について述べる。

2. 本学におけるハードウェア教育の流れ

図 1 に本学におけるハードウェア教育流れを紹介する。

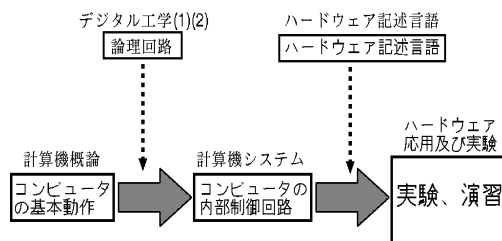


図 1. 一貫したハードウェア教育

● 1 年次：コンピュータの基本動作の理解

学部 1 年次において、ノイマン型コンピュータの原理と動作の基礎を学ぶ。プロセッサを外側から見たときの動作の理解を目的とする。CASL-II シミュレータを用いた演習を行って理解させる。

● 2 年次：コンピュータ内部制御回路の理解

学部 2 年次において、プロセッサを内側から見た時のコンピュータの動作の理解を行う。前期の段階では、プロセッサの内部動作の記述である RTL(Register Transfer Logic)記述を用い、人手により実際に回路設計を行う。

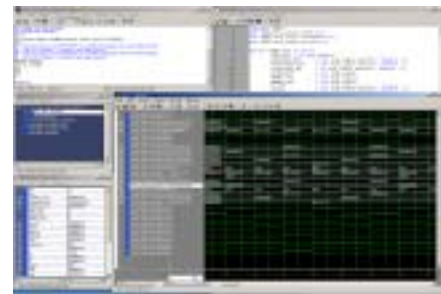
後期のハードウェア記述言語の講義では RTL 記述を用いて回路が設計できるようにハードウェア記述言語を用い

た設計手法について学習する。

● 3 年次：実機を用いた演習

学部 3 年次において学生がハードウェア記述言語と CAD ツール(図 2)を用いて設計したプロセッサを実機上で動作させると共に、実際に COMET-II 互換プロセッサを搭載した COMET-II ボードを用いた演習を行う。

図 2. CAD ツール



3. SimpleCPU による演習

本年度は、3 年次演習の理解向上を目的に、簡単な CPU(SimpleCPU)による演習を追加した。昨年度までの傾向として 3 年次の時点では、学生はまだ CAD ツールを十分に使いこなせていないようであった。この状態で COMET-II ボードによる演習を実施すると、CAD ツール等の理解、プロセッサの理解と、演習初期段階における負担が大きいようであった。このようなギャップを埋めるべく、SimpleCPU による演習を追加した。

3.1 SimpleCPU の構成

SimpleCPU は文献[3]で登場する CPU であり以下の構成をとる。

- 1 語 8 ビットでメモリは簡単のため 32 語とする
- データバス 8 ビット、アドレスバス 8 ビット
- 以下の 8 ビットレジスタをもつ
 - プログラムカウンタ (PC)
 - 命令レジスタ (IR)
 - メモリアドレスレジスタ (MAR)
 - メモリバッファレジスタ (MBR)
 - 汎用レジスタ(R)
- 算術論理演算装置(ALU)は装備していない
- 命令は即値ロード(LDI)、ロード(LOAD)、ストア(STA)、分岐(JUMP)の 4 つの命令のみ

上記のように構成、動作ともに簡単ではあるが、CPU とメモリ間のデータ転送命令を装備しており、ストアードプログラム方式の原理を理解する上では十分である。

3.2 SimpleCPU ボード

実際に SimpleCPU をボード[5]上に実装した物を図 3 に、CPU 内部動作の表示の様子を図 4 に示す。ボード上には FPGA が搭載されており、ここに CPU を実装できる仕組みになっている。ボード上には 8 個の 7 セグメント LED と LED、キーボードがある。また、メモリは FPGA 上に実装す

†武蔵工業大学, Musashi Institute of Technology

る.SimpleCPU を動作させると,各種レジスタの値,クロックの状態,メモリの状態がリアルタイムに表示される仕組みになっており,演習者は SimpleCPU の動作を視覚的に理解する事が可能である.

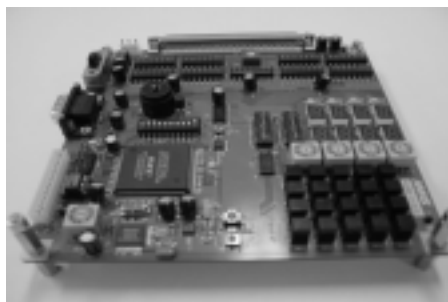


図3 . 簡単な CPU を実装しているボード

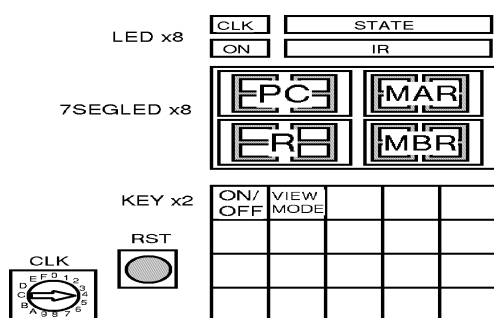


図4 . CPU 内部の表示

3.3 SimpleCPU による演習

1. 教員側で用意した SimpleCPU のハードウェア記述言語を演習者に配布する.学生は与えられたハードウェア記述言語から CAD ツールを使用して回路を生成して,FPGA 上に実現する.そして,ハードウェア記述言語の内容と実際の動作との対応を確認する.
2. シミュレータを使用して,SimpleCPU の内部動作を確認し,1の動作と一致することを確認する
3. 1では2種類の SimpleCPU ソースを配布してある.1つは CPU 制御部をゲートレベル記述したもので,もう一つは RTL 記述したものである.CAD ツールを使用して回路を生成し,回路設計記述の方法により,回路量と動作周波数に表1のように違いが生じる事を理解させる.
4. 機械語をメモリに直接書き込む事でプログラムを作成し,ボード上で実行させる.

表1 . 設計記述による回路量の違い

記述方式	回路量	
	Used / Avail(使用率)	動作周波数[MHz]
ゲートレベル記述	62 / 576 (10.8%)	46.5
RTL 記述	145 / 576 (25.2%)	39.8

本年度からの演習を受講した学生から以下のような反応があった.

- ハードウェア記述言語の段階でシミュレーションを行い,動作検証を行う方法,FPGA 上に実装する方法が理解できた.
- ハードウェア記述言語の設計方法として,ゲートレベル記述と RTL 記述があり,ゲートレベルで設計をした

方が,論理合成後 FPGA 上において回路面積が小さくなり,動作周波数も早くなる事が理解できた.

4 . COMET-II 互換プロセッサによる演習

シミュレータでは例えば割込みといった概念を理解する事が困難である.実機による演習により,割込みや入出力制御についての理解を深めることができ,プロセッサを外側から見た時の動作を理解させる.

SimpleCPU による演習を実施した後,COMET-II 互換プロセッサを搭載した COMET-II ボードによる演習を行った.COMET-II ボードは,本学で開発された COMET-II 互換プロセッサを搭載した演習用ボードである[2].

4.1 COMET-II ボードによる演習

この演習では実機上でプログラムを動作させ,ブザーを鳴らしたり,キーボード割込みを利用して電卓プログラムを作成するといった演習が行う事ができる.また,シリアル通信を使って小型ロボットを制御する演習も行う.

4.2 プロセッサの命令拡張演習

この演習では,CAD ツールを使用し COMET-II 互換プロセッサのシミュレーションを行いプロセッサの内部動作を理解させる.またプロセッサはハードウェア記述言語により記述されており,RTL 記述とハードウェア記述言語の動作を対応させながら設計の方法を会得させる.最終的には演習者に独自の命令を追加させ,実機上での動作確認をおこなう.本年度は掛け算命令,PC 相対分岐命令等の拡張が行われた.

5 . むすび

SimpleCPU の演習を追加した事で,CAD ツールの使い方を復習することができた.また,実機による演習は初めてであるので,この段階で SimpleCPU ボードを使用した演習は敷居を低くするには効果的であると言える.この演習により,COMET-II ボードによる小型ロボット制御,プロセッサの命令拡張演習の理解が昨年度以上に深まったことが,学生のレポートから読み取れた.

COMET-II ボードを用いた教育として今後は,これまでに紹介してきたハードウェア教育だけでなくシステムソフトウェア教育に至るまでカバーできるようにしたい. 今後,COMET-II ボードにオペレーティングシステムを実装する事でオペレーティングシステムやコンパイラ教育も実機を使った学習も行なうことが可能になると考えられる.

参考文献

- [1]財団法人日本情報処理開発協会情報処理技術者試験センター : 情報処理技術者試験案内書・願書,(2001)
- [2] 河合 一慶,宮内 新,荒井 秀一 : COMET-II 互換プロセッサによる CPU 設計演習環境の開発,FIT2002
- [3] 鈴木 久喜,石井 直宏,岩田 彰 : コロナ社,基礎電子計算機,1996 年
- [4] 宮内 新 工学部情報系学科におけるコンピュータアーキテクチャ教育 -演習・実験の取り組み-,日本教育情報学会誌「教育情報研究」,第17巻第1号,(2001)
- [5] 三菱電機マイコン機器ソフトウェア株式会社 : PowerMedusa ユーザーズマニュアル,(2002)